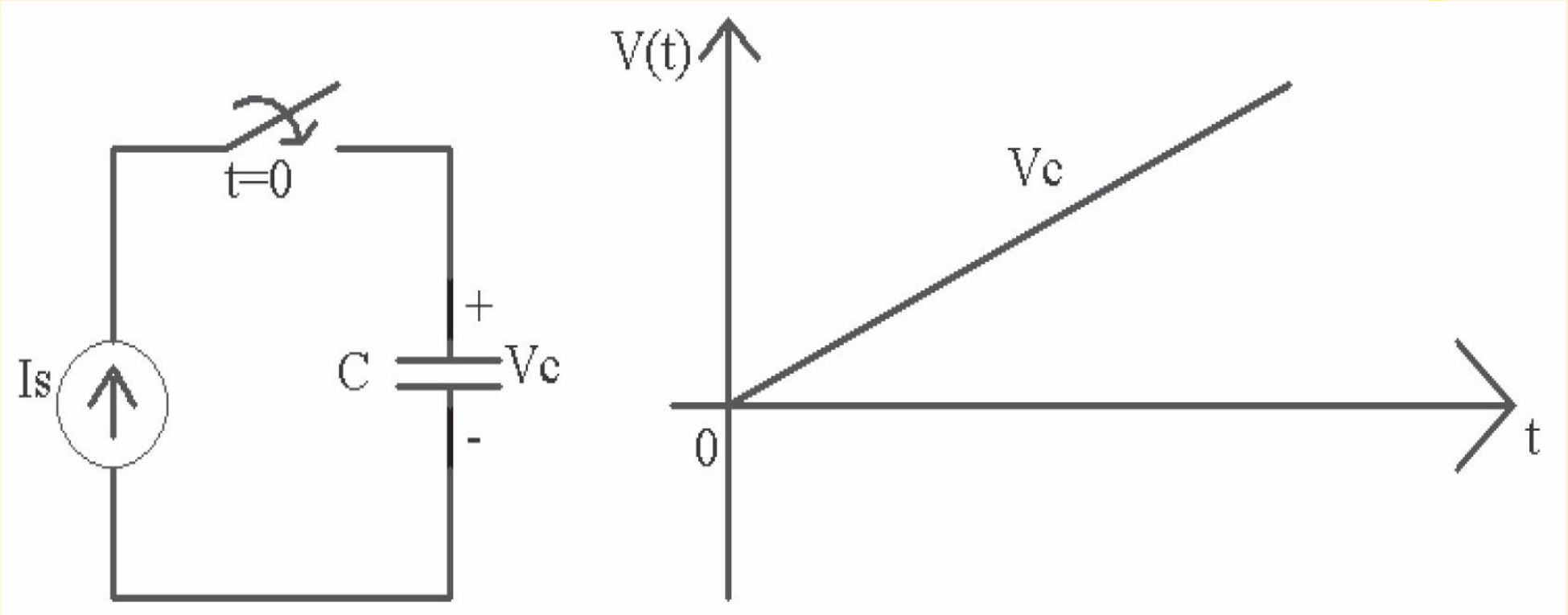
PEMBANGK

IT GELOMBANG

TANJAKAN, SEGI TIGA, GIGI GERGAJI & SINUS

PEMBANGKIT GELOMBANG TANJAKAN

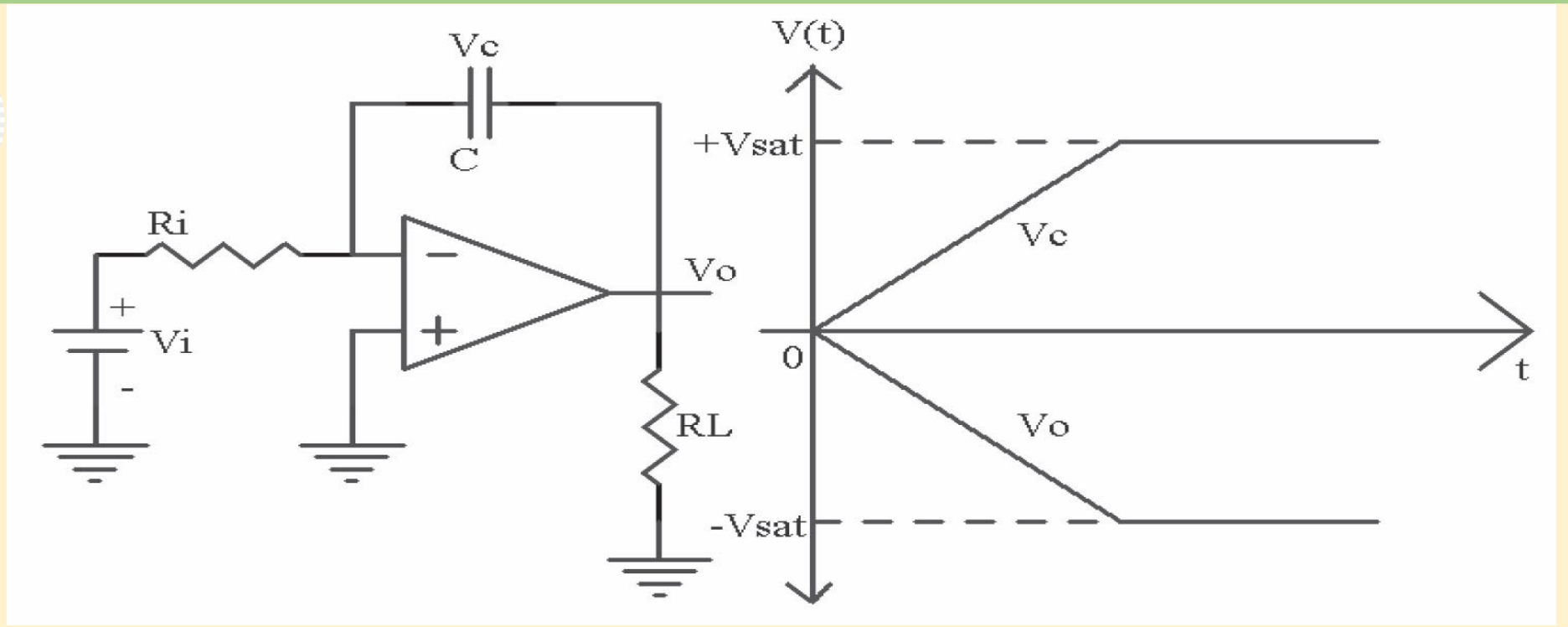


I

Q

Q

V_c



$V_c.t$ Apabila I=

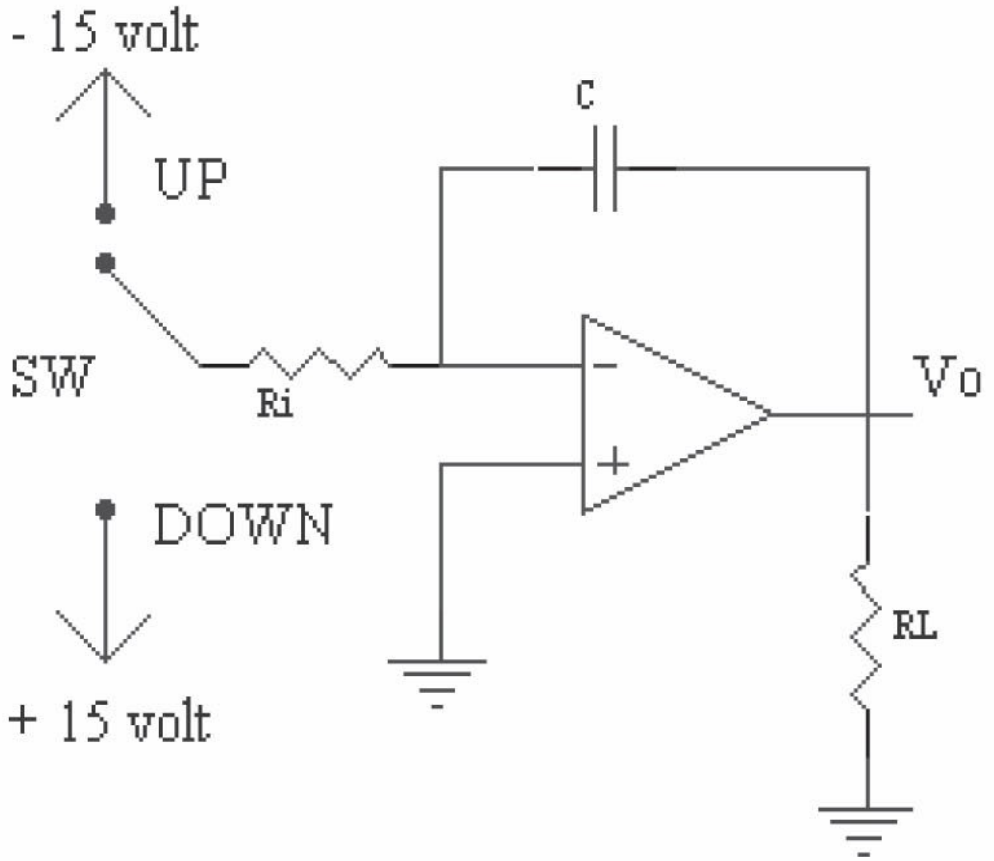
Contoh 4.11

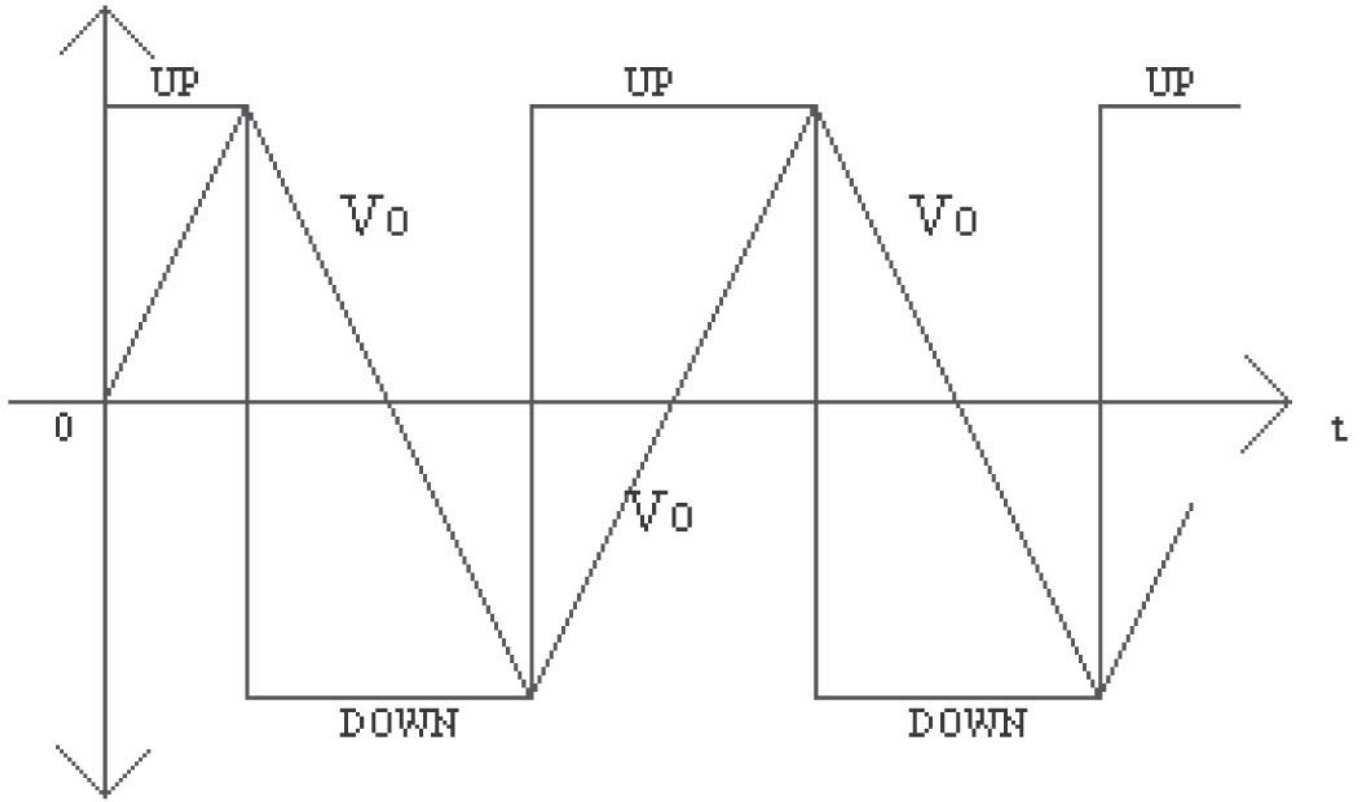
Diketahui op-amp dengan data ± V = ± 12 volt; ± Vsat = ± 10 volt. Hitunglah waktu yang dicapai supaya tegangannya dari 0 volt sampai saturasinya jika R = 10 K dan C = 1uF!

Penyelesaian:

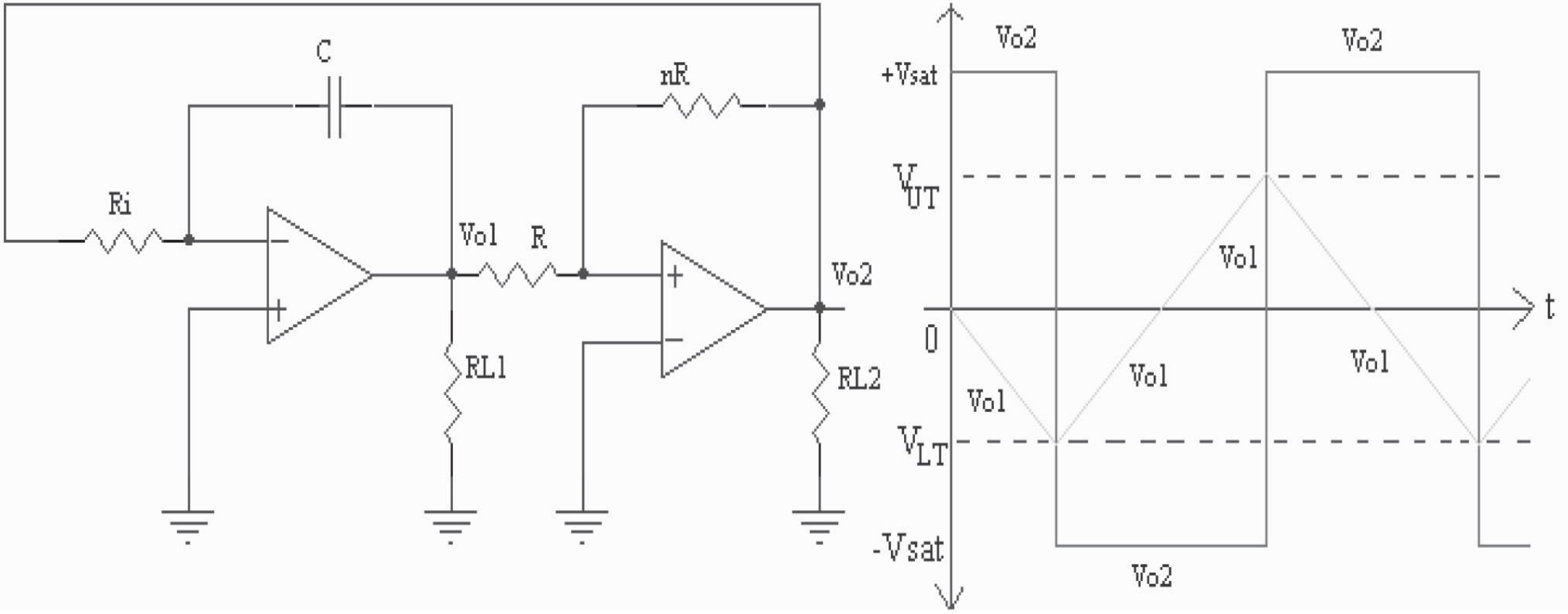
Supaya tegangan output (Vo) menanjak naik maka tegangan input-nya (Vi) sama dengan negatif. Apabila Vi sama dengan -1 volt maka +10

PEMBANGKIT GELOMBANG SEGITIGA *(Triangle Wave Generator)*

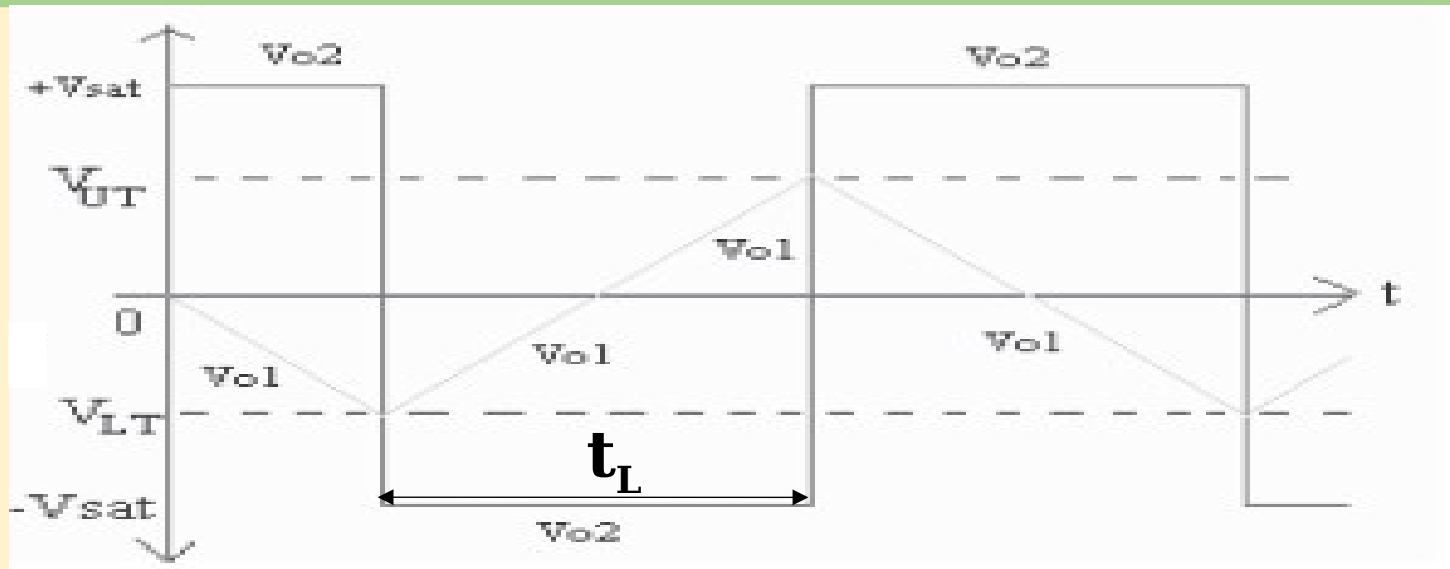




PEMBANGKIT GELOMBANG SEGITIGA & PERSEGI



Gambar 4.8 *Rangkaian pembangkit gelombang segitiga dan gelombang persegi dari Op-Amp*



Mencari waktu rendah (low time) atau t_L.

Persamaan tegangan output gelombang segitiga (Vo1) adalah $Vo = -\frac{Vi}{Ri.C}.t$

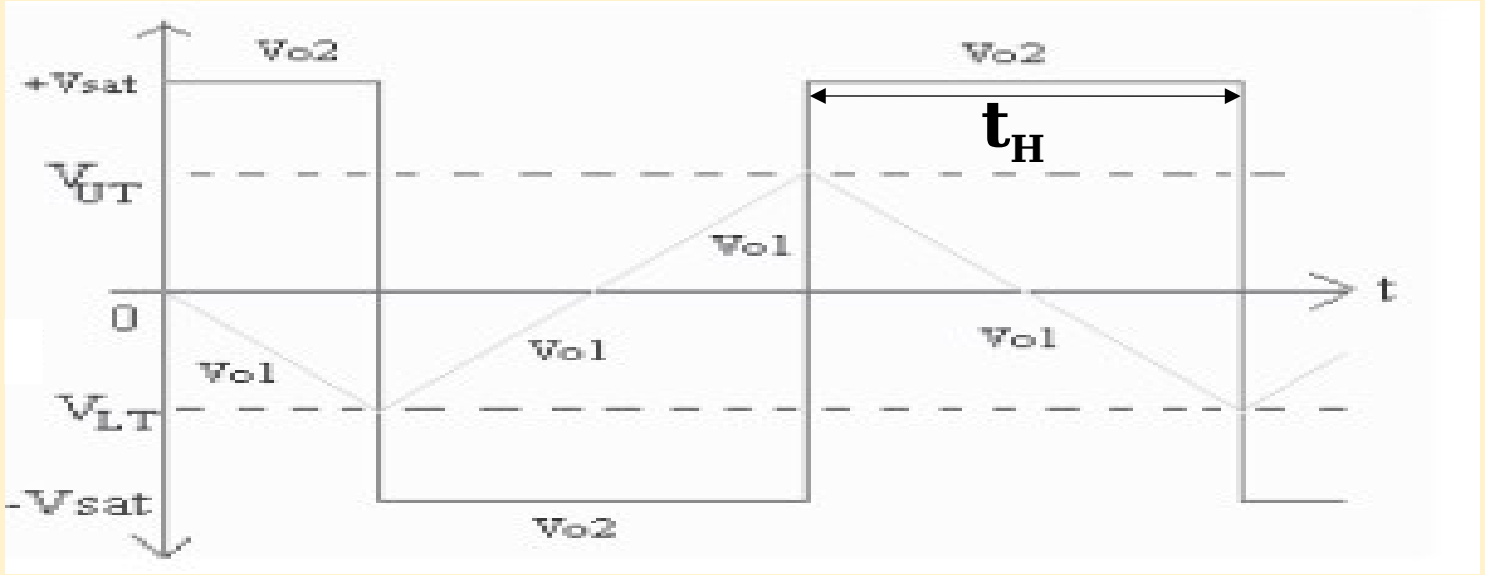
Apabila selama selang waktu rendah yaitu $t = t_L$ persamaannya adalah .

$$V_{UT} - V_{LT} = -\frac{-Vsat}{Ri.C}.t_L$$

$$tL = \frac{(+Vsat) - (-Vsat)}{-(-Vsat).n}.Ri.C$$

$$\text{atau } \frac{+Vsat}{n} - \frac{-Vsat}{n} = -\frac{-Vsat}{Ri.C}.t_L$$

$$jika\,|-Vsat| = |+Vsat|\; maka\; tL = \frac{2.Ri.C}{n}$$



Mencari waktu tinggi (*high time*) atau t_H.

Persamaan tegangan *output* gelombang segitiga (Vo1) adalah $Vo = -\frac{Vi}{Ri.C}.t$

Apabila selama selang waktu tinggi ($t = t_H$) persamaannya adalah

$$V_{LT} - V_{UT} = -\frac{+Vsat}{Ri.C}.t_H$$

$$\frac{-Vsat}{n} - \frac{+Vsat}{n} = -\frac{Vsat}{Ri.C}.t_H$$

$$tH = \frac{(-Vsat) - (+Vsat)}{-(+Vsat).n}.Ri.C$$

$$jika\ |-Vsat| = |+Vsat|\ maka\ tH = \frac{2.Ri.C}{n}$$

$$tL = \frac{(+Vsat) - (-Vsat)}{-(-Vsat).n} .Ri.C$$

$$tH = \frac{(-Vsat) - (+Vsat)}{-(+Vsat).n} .Ri.C$$

$$Periode T = tL + tH$$

$$Frekuensi fo = \frac{1}{T}$$

x 100%

Contoh 4.12

Diketahui gambar 4.8 dengan Ri = 10 K, R = 10 K, n.R = 50 K, C = 1 uF dan RL = 10 K, Op-amp dengan data ±V = ±12 volt ; ± Vsat = ± 10 volt. Hitunglah waktu rendah dan waktu tinggi, periode(T) dan frekuensi osilasi(fo), duty cycle(DC), tegangan output maksimum-minimum!

Penyelesaian:

$$t_L = \frac{2.Ri.C}{n} = \frac{2.10^4.10^{-6}}{5} = \frac{2.10^{-2}}{5} = 4.10^{-3}\text{det} = 4\text{m det}$$

$$t_H = \frac{2.Ri.C}{n} = \frac{2.10^4.10^{-6}}{5} = \frac{2.10^{-2}}{5} = 4.10^{-3}\text{det} = 4\text{m det}$$

$$T = t_L + t_H = 4 + 4 = 8 \text{ m det}$$

$$T = \frac{4.Ri.C}{n} = \frac{4.10^4.10^{-6}}{5} = 8 \text{ m det}$$

$$f_o = \frac{n}{4.Ri.C} = \frac{5}{4.10^4.10^{-6}} = \frac{500}{4} = 125 \text{ Hz}$$

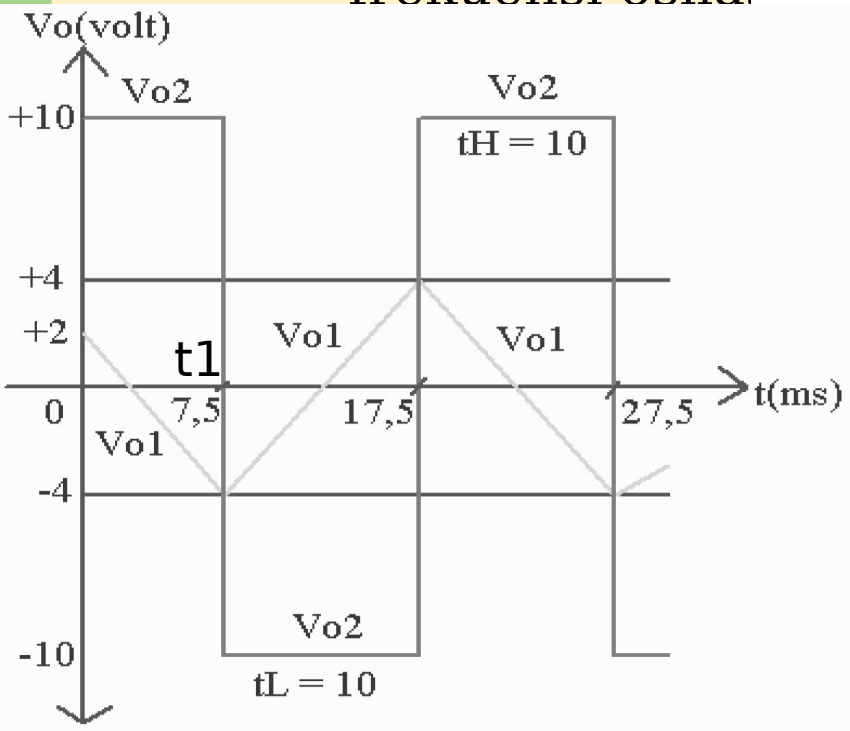
$$DC = \frac{4}{4+4} \times 100\% = 50\%$$

$$\pm Vo \rightarrow segitiga = \pm \frac{Vsat}{n} = \pm \frac{10}{5} = \pm 2\text{volt}$$

$$\pm Vo \rightarrow persegi = \pm Vsat = \pm 10\text{volt}$$

Contoh 4.13

Diketahui rangkaian pembangkit gelombang segitiga dan gelombang persegi dan untuk Op-ampnya ± V = ± 12 volt ; ± Vsat = ± 10 volt. Gambarkan dengan teliti bentuk gelombang *output* segitiga (Vo1) dengan nilai maksimum-minimum ± 4 volt dan tegangan *output* persegi (Vo2) pada satu sumbu salib apabila pada saat t = 0, te
frekuensi osila



Penyelesaian:

$\pm Vo \rightarrow segitiga = \pm\frac{Vsat}{n}$ atau $\pm 4 = \pm\frac{10}{n}$ didapatkan n = 2,5

Jika R = 10K maka nilai nR = 25K.

Jika C = 100 nF.

Dengan $f_o = \frac{n}{4.Ri.C}$ atau $50 = \frac{2,5}{4.Ri.10^{-7}}$ atau $Ri = \frac{2,5}{4.fo.C} = \frac{2,5}{2.10^2.10^{-7}} = 125K\Omega$

Mencari t1 yaitu pada saat Vo1 = -4 volt.

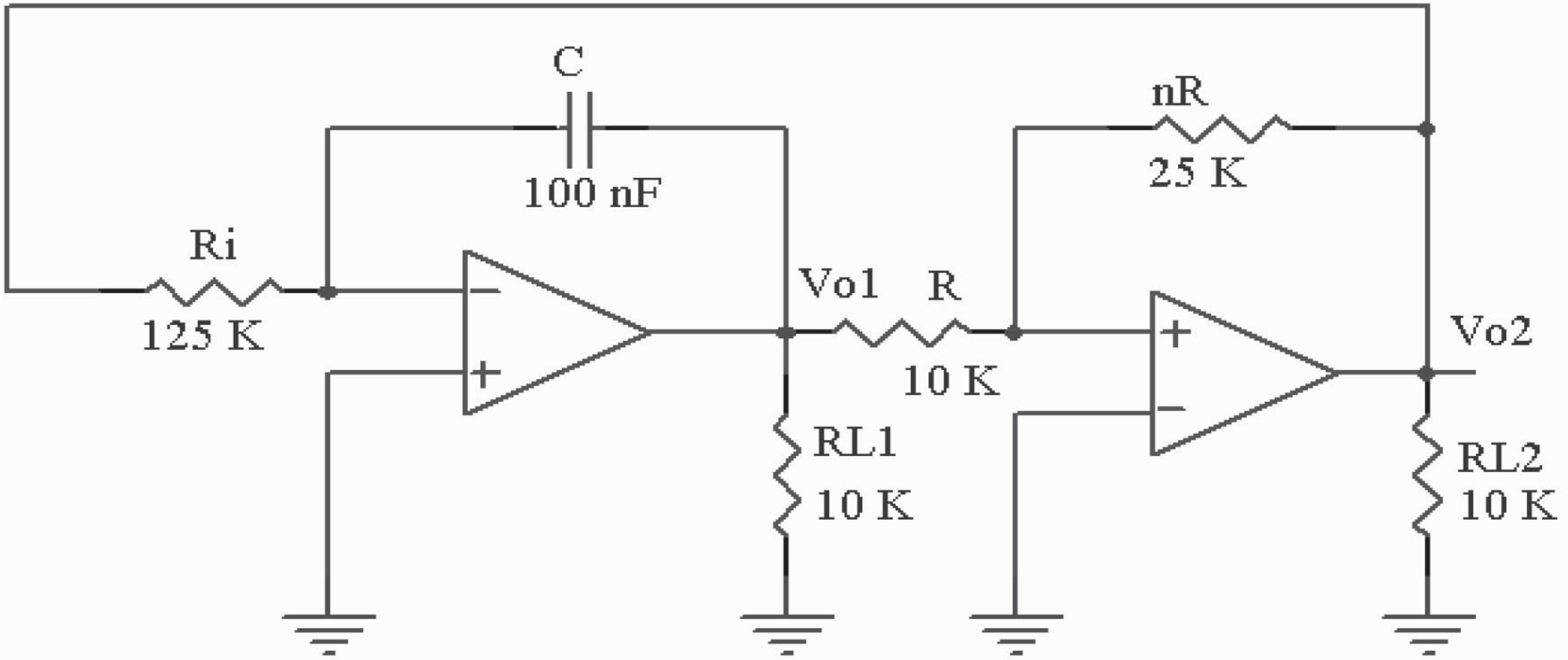
Periode gelombang sama dengan $T = \frac{1}{fo} = \frac{1}{50} = 20$mili det

Persamaan gelombang segitiga: $Vo = -\frac{Vi}{Ri.C}.t$

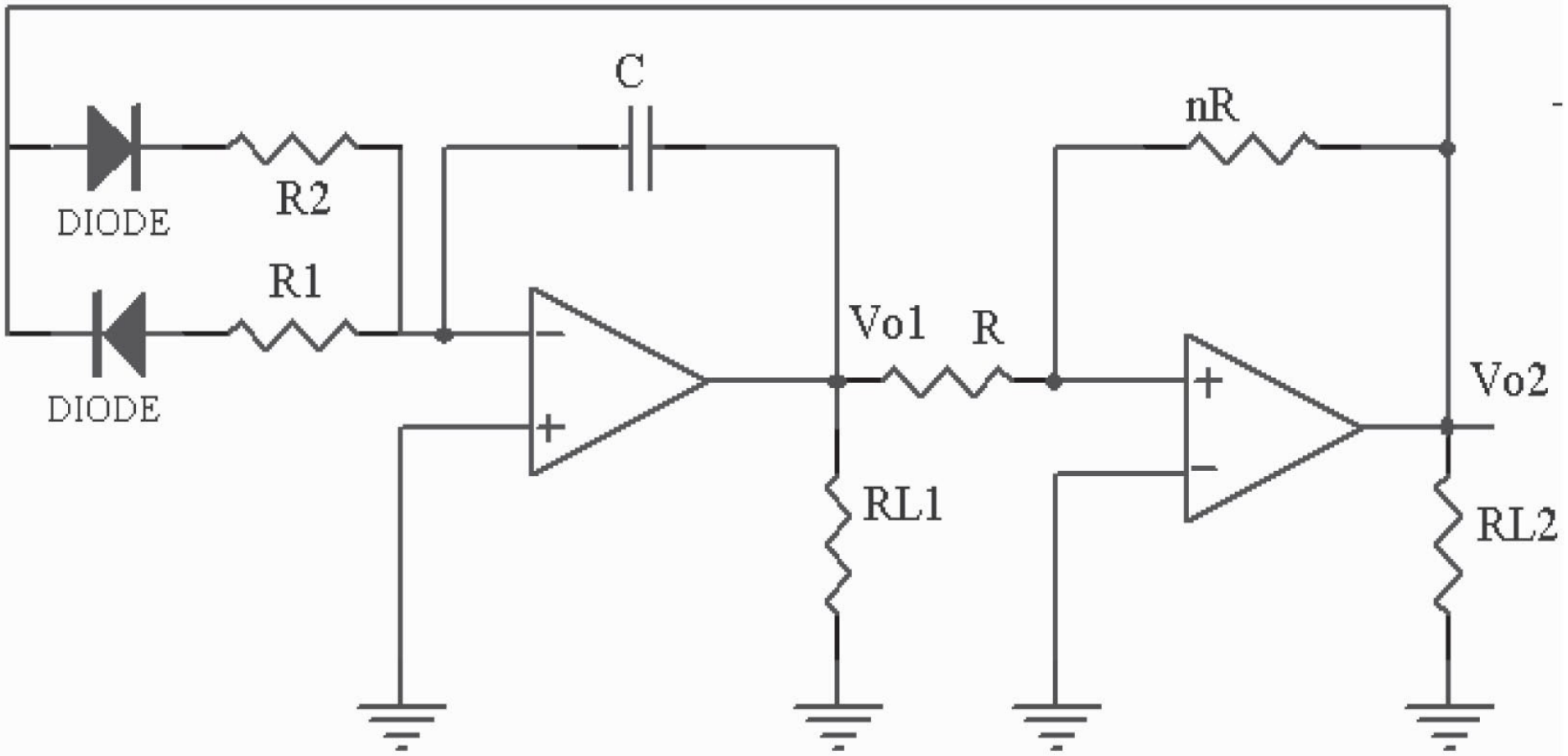
Pada saat t = 0 diketahui Vi = Vo2 = +Vsat = +10 volt dan Vo1 = +2 volt.

$Vo = -\frac{Vi}{Ri.C}.t$ atau $(-4-(+2)) = -\frac{+10}{125.10^3.10^{-7}}.t1$ atau t1 = 7,5 mili det

Rangkaian Hasil Perancangan



PEMBANGKIT GELOMBANG SEGITIGA DENGAN *DUTY CYCLE* TIDAK SAMA DENGAN 50 %



Gambar 4.9 *Pembangkit gelombang segitiga dan gelombang persegi*

Mencari waktu rendah (*low time*) atau t_L. Waktu rendah berarti gradiennya positif atau naik sehingga dioda yang aktif adalah yang bawah dan tahanan *input*-nya adalah R1 sehingga selang waktu rendah yaitu $t = t_L$, persamaannya adalah $V_{UT} - V_{LT} = -\frac{Vi}{Ri.C}.t_L$ atau $\frac{+Vsat}{n} - \frac{-Vsat}{n} = \frac{Vsat}{Ri.C}.t_L$.

$$tL = \frac{(+Vsat) - (-Vsat)}{-(-Vsat).n}.R1.C$$

$$jika\,|-Vsat| = |+Vsat|\,maka\,tL = \frac{2.R1.C}{n}$$

Mencari waktu tinggi (*high time*) atau t_H. Waktu tinggi berarti gradiennya negatif atau turun sehingga dioda yang aktif adalah yang atas dan tahanan *input*-nya adalah R2 sehingga selang waktu tinggi ($t = t_H$), persamaannya adalah $V_{LT} - V_{UT} = -\frac{+Vsat}{Ri.C}.t_H$ atau $\frac{-Vsat}{n} - \frac{+Vsat}{n} = -\frac{Vsat}{Ri.C}.t_H$.

dan $t_H = \frac{2.R2.C}{n}$

$$tH = \frac{(-Vsat) - (+Vsat)}{-(+Vsat).n}.R2.C$$

Periode gelombang $T = t_L + t_H = \frac{2.(R1+R2).C}{n}$

dan frekuensi osilasinya $f_o = \frac{n}{2.(R1+R2).C}$

Duty cycle atau siklus kerja sama dengan $DC = \frac{t_H}{t_L + t_H} \times 100\% = \frac{R2}{R1+R2} \times 100\%$

Contoh 4.14

Diketahui gambar 4.9 dengan R1 = 10 K, R2 = 20 K, R = 10 K, n.R = 50 K, C = 1uF dan RL1 = 10 K, RL2 = 10 K, diodanya ideal dengan tegangan drop sama dengan 0 volt, Op-amp dengan data ± V = ± 12 volt ; ± Vsat = ± 10 volt. Hitunglah waktu rendah dan waktu tinggi, periode dan frekuensi osilasi, *duty cycle*, tegangan

Penyelesaian:

$$t_L = \frac{2.R1.C}{n} = \frac{2.10^4.10^{-6}}{5} = \frac{2.10^{-2}}{5} = 4.10^{-3}\text{det} = 4\text{m det}$$

$$t_H = \frac{2.R2.C}{n} = \frac{2.(2.10^4).10^{-6}}{5} = \frac{4.10^{-2}}{5} = 8.10^{-3}\text{det} = 8\text{m det}$$

$$T = t_L + t_H = 4 + 8 = 12\ \text{m det}$$

$$T = \frac{2.(R1+R2).C}{n} = \frac{2.(1+2).10^4.10^{-6}}{5} = 12\ \text{m det}$$

$$f_o = \frac{n}{2.(R1+R2).C} = \frac{5}{2.(1+2).10^4.10^{-6}} = \frac{500}{6} = 83{,}3\ \text{Hz}$$

$$DC = \frac{R2}{R1+R2} \times 100\% = \frac{20}{10+20} \times 100\% = 66{,}7\%$$

$$\pm Vo \rightarrow segitiga = \pm \frac{Vsat}{n} = \pm \frac{10}{5} = \pm 2\text{volt}$$

$$\pm Vo \rightarrow persegi = \pm Vsat = \pm 10\text{volt}$$

Contoh 4.15

Diketahui rangkaian pembangkit gelombang segitiga dan gelombang persegi dan untuk Op-ampnya ± V = ± 12 volt; ± Vsat = ± 10 volt. Gambarkan dengan teliti bentuk gelombang *output* segitiga (Vo1) dengan nilai maksimum-minimum ± 5 volt dan tegangan *output* persegi (Vo2) pada satu sumbu salib apabila pada saat t = 0, tegangan Vo1 = + 2 volt dan Vo2 = -Vsat dengan frek

$$\pm Vo - segitiga = \pm\frac{Vsat}{n} \text{ atau } \pm 5 = \pm\frac{10}{n} \text{ didapatkan n = 2}$$

Jika R = 10K maka nilai nR = 20K.

Jika C = 100 nF.

$$\text{Dengan } f_o = \frac{n}{2.(R1+R2).C} \text{ atau } 100 = \frac{2{,}5}{2.(R1+R2).10^{-7}}$$

$$(R1+R2) = \frac{1}{10^{-5}} = 100K\Omega$$

$$DC = \frac{R2}{R1+R2}\times 100\% \text{ atau } 20\% = \frac{R2}{R1+R2}\times 100\% \text{ atau } \frac{R2}{R1+R2} = \frac{1}{5} \text{ atau R1 = 4.R2}$$

Jika R2 = 20K maka R1 = 80K.

Periode gelombang sama dengan $T = \frac{1}{fo} = \frac{1}{100} = 10$ mili det

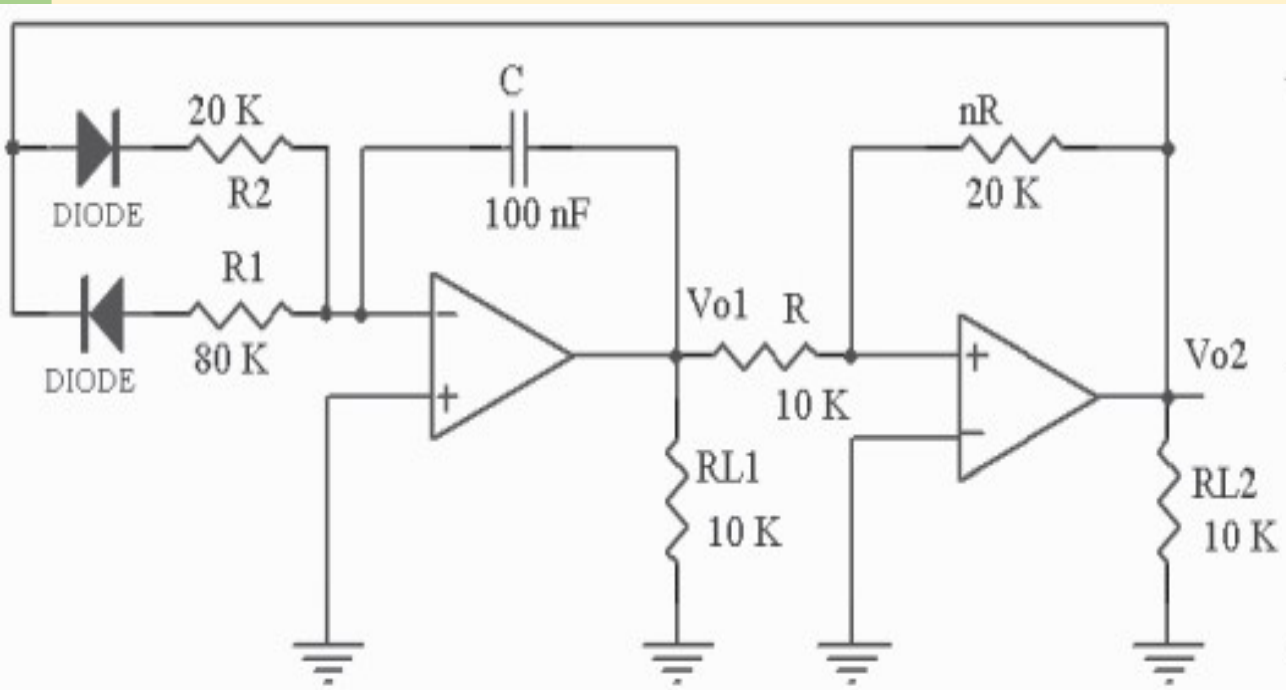
$DC = \frac{t_H}{T} \times 100\%$ atau $20\% = \frac{t_H}{10} \times 100\%$ didapatkan $t_H = 2$mili det dan $t_L = 8$mili det

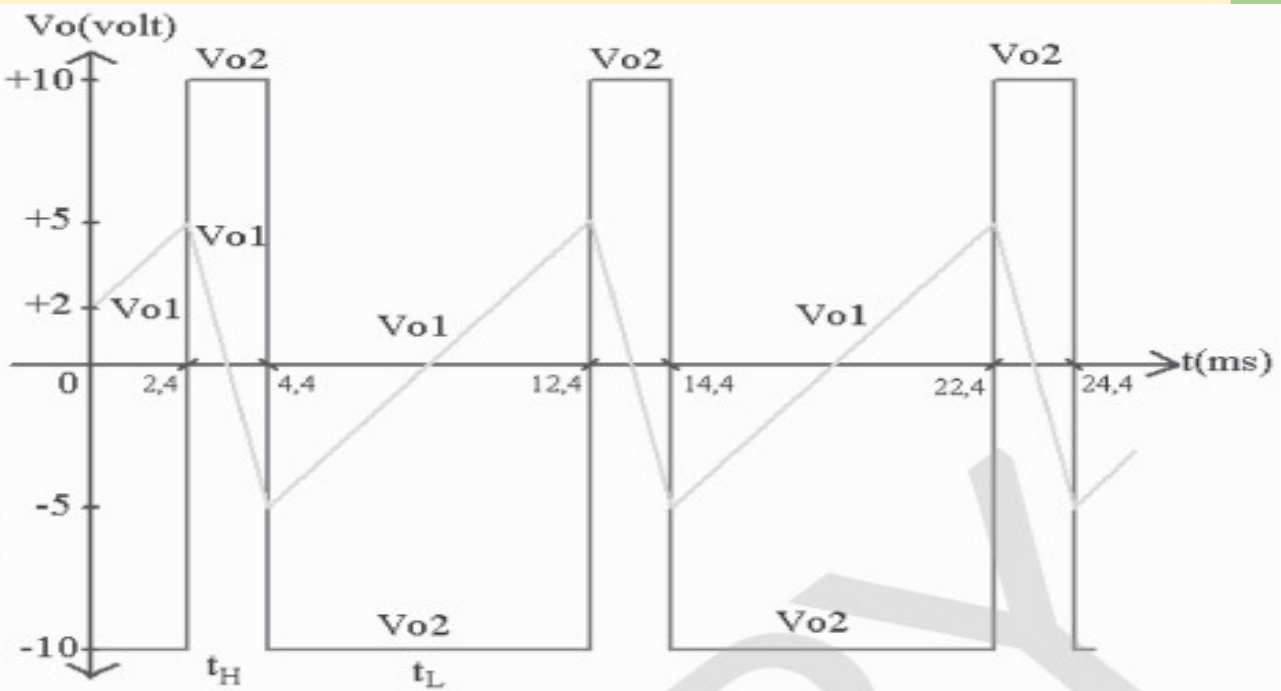
mencari t1 yaitu pada saat Vo1 = 5 volt.

Persamaan gelombang segitiga: $Vo = -\frac{Vi}{Ri.C}.t$

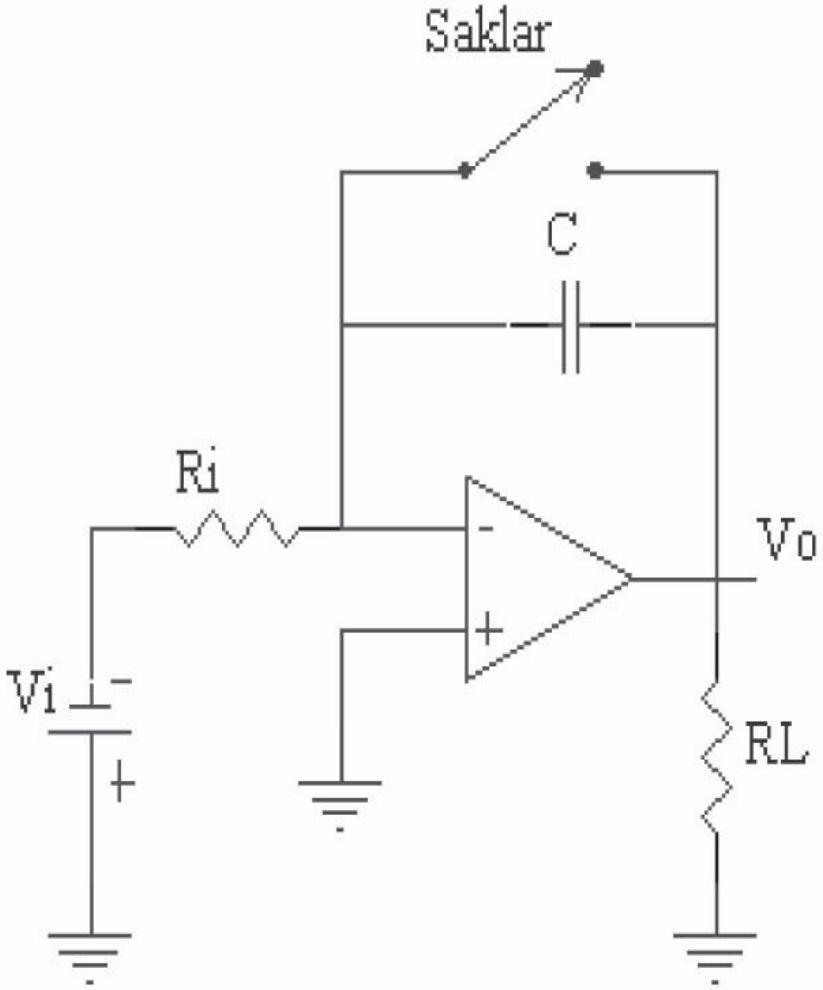
Pada saat t = 0 diketahui Vi = Vo2 = −Vsat = −10 volt dan Vo1 = + 2 volt.

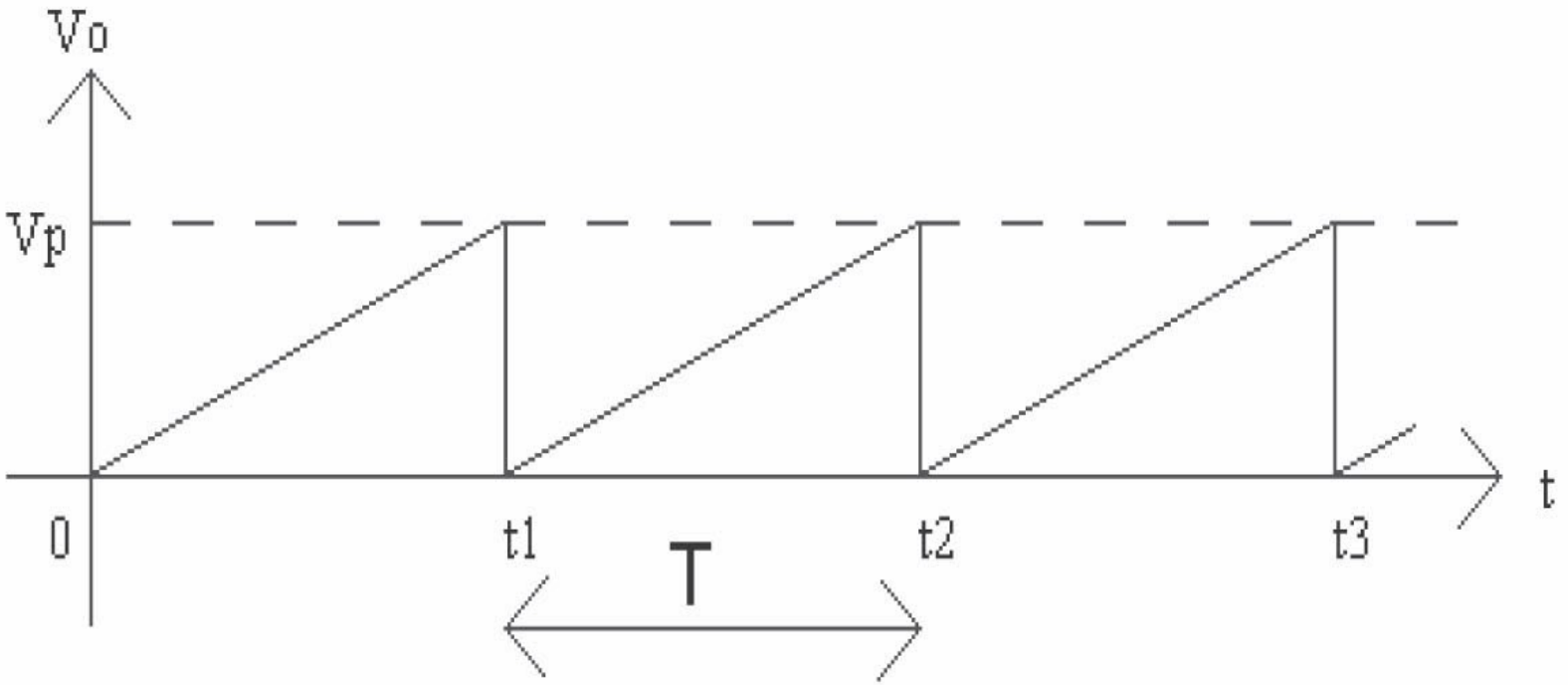
$Vo = -\frac{Vi}{Ri.C}.t$ atau $(5-(+2)) = -\frac{-10}{8.10^4.10^{-7}}.t1$ atau $t1 = 2{,}4$ mili det





PEMBANGKIT GELOMBANG GIGI-GERGAJI *(Saw Thoot Wave Generator)*





Persamaan tegangan output gelombang tanjakan (Vo) adalah $Vo = -\frac{Vi}{Ri.C}.t$

Pada saat Vo = Vp yaitu pada t = T dan $Vo = -\frac{Vi}{Ri.C}.t$.

$Vp = -\frac{Vi}{Ri.C}.T$ sehingga $T = -\frac{Ri.C.Vp}{Vi}$

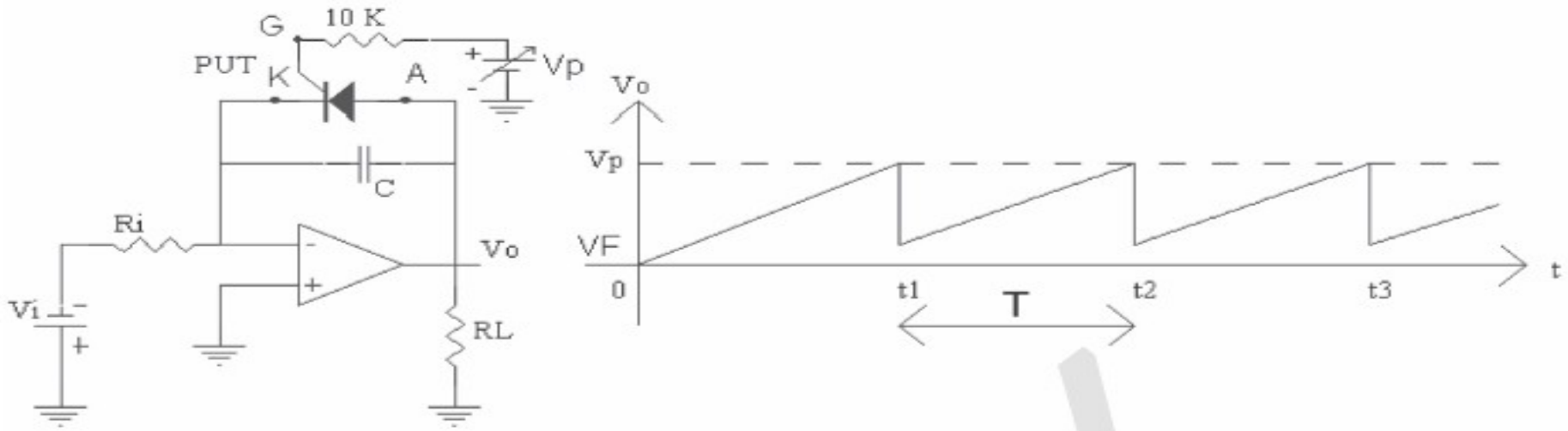
dan frekuensi osilasinya adalah $fo = \frac{1}{T} = -\frac{Vi}{Ri.C.Vp}$

Karena PUT adalah suatu komponen yang terbuat dari bahan semikonduktor maka pada daerah persambungan p-n (*p-n junction*) akan mengalami tegangan drop sebesar 1 volt. Cara memasang komponen PUT dengan *ramp generator* sehingga membentuk pembangkit gelombang gigi gergaji seperti pada Gambar 4.12 dan bentuk gelombang yang dihasilkannya. Karena tegangan nol tidak sampai sama dengan nol, tetapi sama dengan tegangan drop pada p-n sebesar 1 volt sehingga:

Persamaan tegangan output (Vo) adalah $Vo = -\frac{Vi}{Ri.C}.t$, sedangkan periode dan frekuensinya adalah:

Periodenya $$T = -\frac{Ri.C.(Vp-1)}{Vi} \qquad (4.43)$$

Frekuensi osilasinya adalah $$fo = \frac{1}{T} = -\frac{Vi}{Ri.C.(Vp-1)} \qquad (4.44)$$



Gambar 4.12 *Rangkaian pembangkit gelombang gigi gergaji dari Op-Amp dan PUT*

Contoh 4.16

Diketahui rangkaian pada Gambar 4.12 dengan Ri = 10 K, C = 100 nF, RL = 10 K. V_F pada PUT = 1 volt, Vp = 5 volt, op-amp mempunyai data ± V = ± 12 volt ; ± Vsat = ± 10 volt. Hitunglah frekuensi osilasi apabila Vi sama

Penyelesaian:

$$\text{Jika Vi} = 1\text{ v maka } fo = \frac{Vi}{Ri.C.(Vp-1)} = \frac{1}{10^4.10^{-7}.(5-1)} = 250\text{Hz}$$

$$\text{Jika Vi} = 2\text{ v maka } fo = \frac{Vi}{Ri.C.(Vp-1)} = \frac{2}{10^4.10^{-7}.(5-1)} = 500\text{Hz}$$

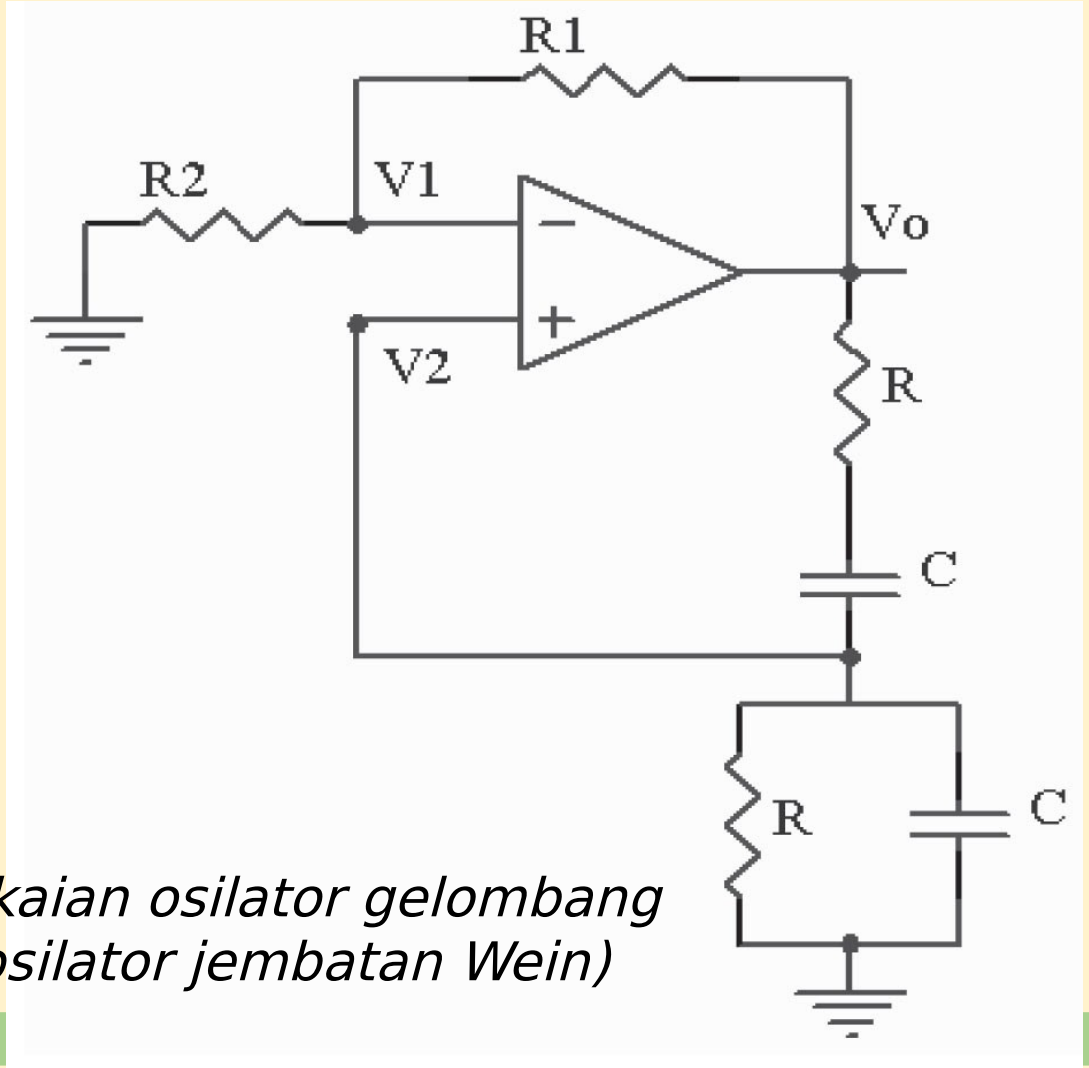
$$\text{Jika Vi} = 3\text{ v maka } fo = \frac{Vi}{Ri.C.(Vp-1)} = \frac{3}{10^4.10^{-7}.(5-1)} = 750\text{Hz}$$

$$\text{Jika Vi} = 4\text{ v maka } fo = \frac{Vi}{Ri.C.(Vp-1)} = \frac{4}{10^4.10^{-7}.(5-1)} = 1000\text{Hz}$$

$$\text{Jika Vi} = 5\text{ v maka } fo = \frac{Vi}{Ri.C.(Vp-1)} = \frac{5}{10^4.10^{-7}.(5-1)} = 1250\text{Hz}$$

Dari contoh di atas maka rangkaian tersebut dinamakan juga sebagai VCO (*Voltage Controlled Oscillator*) yaitu osilator yang frekuensinya diatur oleh tegangan.

PEMBANGKIT GELOMBANG SINUS *(OSCILLATOR)* OSILATOR JEMBATAN WIEN



Gambar 4.13 *Rangkaian osilator gelombang sinus dari Op-Amp (osilator jembatan Wein)*

Analisis untuk mencari frekuensi osilasi dari rangkaian yaitu dari frekuensi resonansinya sebagai berikut bahwa tegangan *output* Vo sama dengan gain (A) dengan selisih tegangan *input* (V2-V1):

$$Vo = A(V2 - V1) \tag{4.45}$$

$$V1 = \frac{R2}{R1+R2}.Vo \tag{4.46}$$

$$V2 = \frac{R.\dfrac{1}{j\omega C}}{R+\dfrac{1}{j\omega C}}Vo = \frac{\dfrac{R}{1+j\omega RC}}{\dfrac{R}{1+j\omega RC}+R+\dfrac{1}{j\omega C}}Vo = \frac{R}{R+R(1+j\omega RC)+\dfrac{1+j\omega RC}{j\omega C}}Vo$$

$$V2 = \frac{1}{1+(1+j\omega C)+\dfrac{(1+j\omega RC)}{j\omega RC}}Vo = \frac{j\omega RC}{3j\omega RC+1-\omega^2R^2C^2}Vo = \frac{j\omega CR}{1-\omega^2C^2R^2+j3\omega CR}.Vo$$

$$Vo = A(V2 - V1)$$

$$Vo = A\left(\frac{j\omega CR}{1-\omega^2C^2R^2+j3\omega CR}.Vo - \frac{R2}{R1+R2}.Vo\right)$$

$$Vo\left(1 - A.\frac{j\omega CR}{1-\omega^2C^2R^2+j3\omega CR} + A.\frac{R2}{R1+R2}\right)=0$$

$$\left(1 - \frac{A.j\omega CR}{1-\omega^2C^2R^2+j3\omega CR} + \frac{AR2}{R1+R2}\right)=0$$

$$\left(1+\frac{A.R2}{R1+R2} + j\frac{-A.\omega CR}{\left(1-\omega^2C^2R^2+j3\omega CR\right)}\right)=0$$

Osilasi atau resonansi terjadi apabila pada bagian imajiner = 0

$$\frac{A.\omega_0.CR}{1-\omega_0{}^2C^2R^2+j3\omega_0 CR}=0$$

$$\frac{A.\omega_0.CR}{1-\omega_0{}^2C^2R^2+j3\omega_0 CR}\times\frac{j\omega_0 CR}{j\omega_0 CR}=0$$

$$\frac{jA.\omega_0{}^2.C^2R^2}{j\omega_0{}^2C^2R^2 - j\omega_0{}^2C^2R^2 - 3\omega_0 CR}=0$$

$$\omega_0{}^2C^2R^2=0$$

$$\omega_0{}^2=\frac{1}{C^2.R^2} \text{ atau } \omega_0=\frac{1}{\sqrt{R^2.C^2}} = \frac{1}{R.C}$$

$$f_o = \frac{1}{2.\pi.R.C}$$

Contoh 4.17

Diketahui rangkaian pada Gambar 4.13 dengan R1 = 20 K, R2 = 10 K, R = 10 K, C = 10 nF , Op-amp dengan data ± V = ± 12 volt ; ± Vsat = ± 10 volt. Hitunglah frekuensi osilasinya!

Penyelesaian:

$$f_o = \frac{1}{2.\pi.R.C} = \frac{1}{2.(3,14).10^{4}.10^{-8}} = \frac{1}{6,28.10^{-4}} = \frac{10000}{6,28} = 1590\text{Hz}$$

https://www.its.ac.id/telektro/id/beranda/